



## 如何选择合适的晶振

### 普通晶体振荡器 (PX0)

普通晶体振荡器 (PX) 不采取任何温度补偿或恒温措施, 各项技术指标中等水平, 主要有频率、输出形式、稳定度三个技术参数:

频率: 即晶振频率。

输出: 大多数应用系统都要求晶振输出与TTL、ECL、CMOS或正弦波兼容。各种输出形式详见右图。

稳定度: 振荡器的基本指标都是与输出频率相关的, 与理想频率相比, 振荡器的输出频率总会存在一定的误差, 主要由三方面组成:

频率准确度: 若晶振频率是固定频率输出, 无其他调频方式 (如电调整或机械调整), 就要对晶振提该项指标, 即出厂频率与理想频率的偏离程度。

温度稳定度: 振荡器的输出频率受温度变化的影响。图2所示为晶体的温度特性曲线, 它与晶体的切割角度有关, 而晶振的温度稳定度取决于选择合适的晶体, 并设计合适的振荡电路, 二者协调工作, 来保持晶体固有的稳定性。例如  $\pm 10\text{ppm} @ 0 \sim +50$ , 表示在规定的温区内频率最大变化范围为20 ppm; 有时频率变化范围是相对于一个参考值来说的 (一般以室温25 的输出频率为参考频率)。

老化率 (长期稳定度): 晶体的工作参数随时间的变化会引起晶体振荡器的频率漂移 (与其他外部因素无关)。图3所示为典型的晶体老化曲线, 可见, 晶体初始加电时, 老化较快, 随时间会有所改善, 几星期后可达到最低老化率。若给晶体加适当电流, 阻焊AT切晶体老化率一般为5ppm/第一年, 3ppm/年第二年以后。如果用户系统要求更严格的老化率则要考虑: 增加频率调整端, 以便在一段时期后重新校准输出频率; 采用更高质量的晶体谐振器, 如真空玻壳或冷压焊封装。

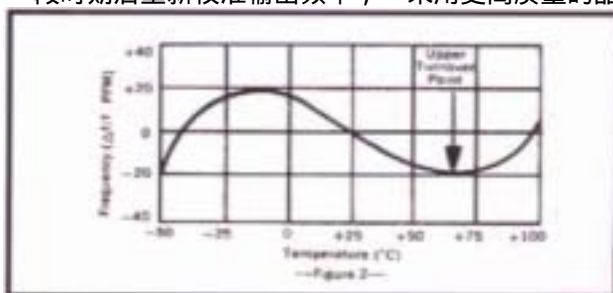
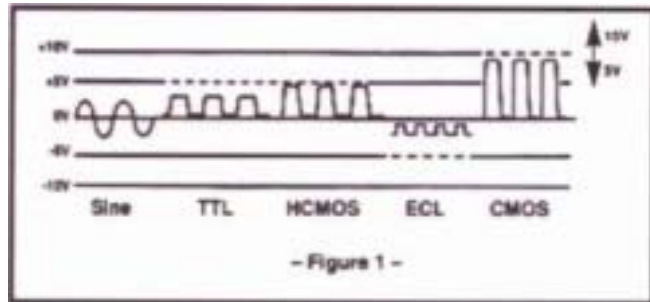


图2

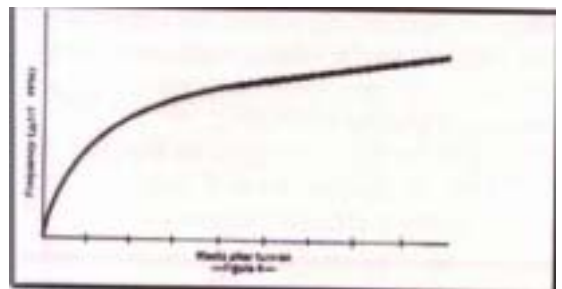


图3



### 压控晶体振荡器 (VCXO)

压控晶体振荡器 (VCXO) 在振荡电路中加一个变容二极管，通过改变变容二极管两端的电压来改变输出频率。可以在TCXO或OCXO基础上改进电压控制，则可称为VCTCXO或VCOCXO。

VCXO除了晶体振荡器的基本指标外，还有一些特殊指标：

压控电压：引起频率变化的可变的输入电压。

压控范围：压控电压导致频率的变化范围。例如0~5V压控电压调频范围为150ppm。

斜率：即频率随电压变化的方向。

正斜率指频率随电压的升高而增加，如图1。

负斜率指频率随电压的升高而减小，如图2。

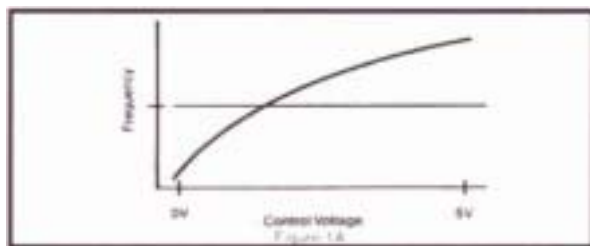


图1

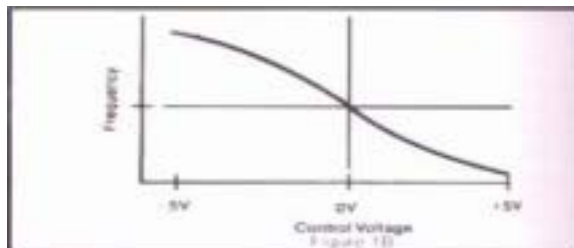


图2

线性度：频率误差与最大压控范围的比率。如图3所示，理想的压控曲线应是一条直线，频率随电压呈线性变化（直线A），D为实际曲线，即指曲线D与直线A的最大离差程度。例如，压控范围为20KHz，线性度为 $\pm 5\%$ ，则要求压控曲线D与直线A最大离差  $\pm 1$  KHz。又如图3，曲线与直线的最大离差为14ppm，压控范围100ppm，则线性度为 $\pm 14\text{ppm}/100\text{ppm} = \pm 14\%$ 。

稳定度：晶体谐振器的高Q值决定了晶体振荡器的高稳定度，这一特性不允许振荡器有很大的频差。但是如果为了得到足够大的压控范围，就必须降低振荡电路的Q值，这样就导致晶体的固有特性如温度特性、老化特性及短稳（与相噪相关），大大降低。因此，如果不是必须，最好不要要求太宽的压控范围。

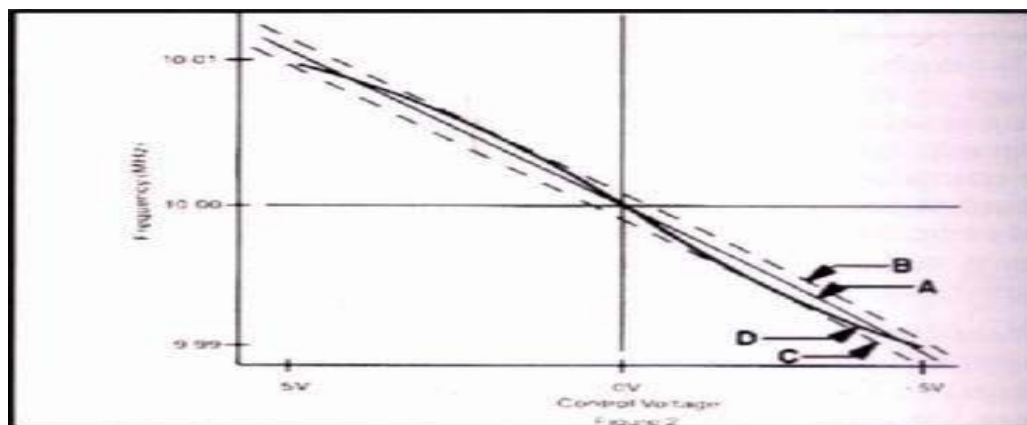


图4



### 温度补偿晶体振荡器 (TCXO)

温度稳定度：普通晶体振荡器温度稳定特性曲线如图1所示（图中实线），如果在电路中增加一些器件，使它影响频率随温度的变化与原曲线大小相等、方向相反（图中虚线），这样就改善了振荡器的温度稳定度。

最简单的TCXO就是给晶体串联一个变容二极管，变容二极管两端电压发生变化时，容值改变，从而改变振荡频率。而热敏电阻网络的输出电压随温度的变化恰好能使变容二极管改变的频率补偿温度特性曲线。由于不同TCXO都要根据各自晶体的温度特性来设计补偿网络，因此TCXO的价格与晶体的温度特性有很大关系。例如，振荡器的温度稳定度为  $\pm 1 \times 10^{-6}/20 \sim +70$ ，是指在指定温度区间内，频率最大变化范围是  $2 \times 10^{-6}$ ；若给定了参考频率（一般是25 室温输出频率），则是指与参考频率的差值是  $\pm 1 \times 10^{-6}$ 。另外，TCXO的温度特性曲线并不是线性的，因此不能说温度变化1，频率就相应变化多少。

老化率：普通晶体振荡器受温度影响较大，所以老化影响就变得很次要了。但对于温度稳定度较高的TCXO来说，晶体的老化就是影响频率的一个很重要的因素。因此，TCXO一般要求能达到  $\pm 1 \times 10^{-6}/\text{年}$ 。

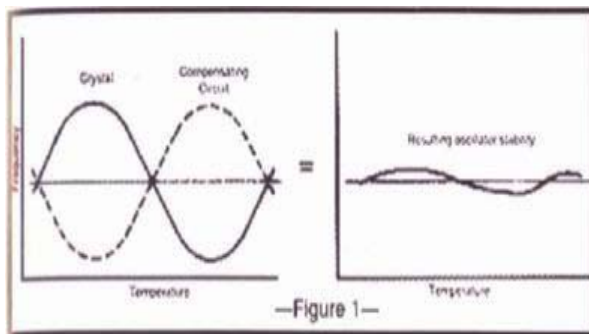


图1

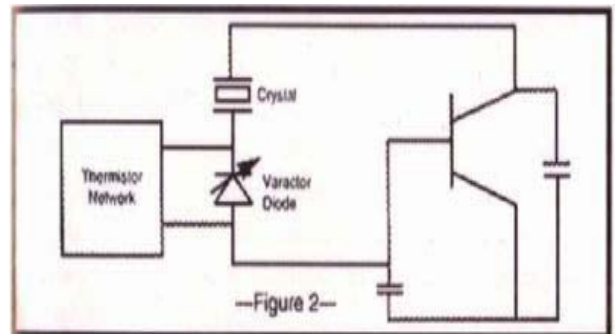


图2



### 恒温晶体振荡器（OCXO）之一

如果XO或TCXO都不能达到所要求的稳定度，就应对晶体和主要电路采取恒温措施。

恒温控制：恒温控制是指一个电伺服系统持续向恒温槽加热，通过改变加热电流来补偿环境温度的变化。一般是由嵌在恒温槽中的热敏电阻RT来感应温度的，该热敏电阻作为桥式电路中的一臂，如下图1所示。

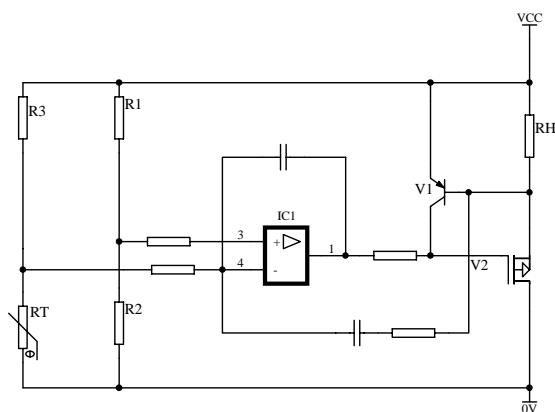


图1

当外界温度变化引起恒温槽温度降低时，热敏电阻阻值发生改变，引起桥路不平衡，使桥路输出电压增加，该电压经高增益差分放大器和功率放大器两级放大，直接驱动加热线圈，加热恒温槽，以补偿降低的温度。同理，当外界温度升高时，桥路输出电压就会减小，恒温槽加热电流也相应减小。

采用恒温措施改进振荡器的温度稳定度，可比晶体固有的温度稳定度提高10000倍（例如从 $\pm 1 \times 10^{-5}$ 到 $\pm 1 \times 10^{-9}/-40 \sim +75$ ）。但是恒温控制系统也不是完美的，因为：

电路的开环增益不是无穷大的；

恒温槽内也会存在温差；

恒温槽外的电路也会由于环境温度的变化影响输出频率。

因此环境温度的变化必然会引起输出频率的变化。



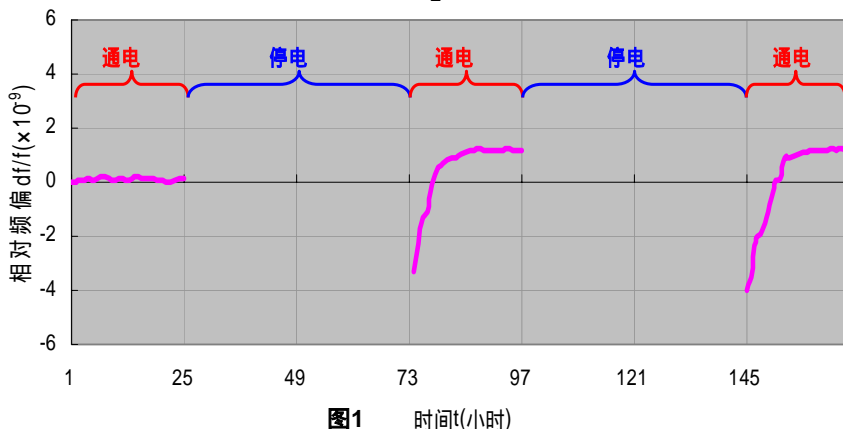
## 恒温晶体振荡器 (OCXO) 之二

### 稳定性

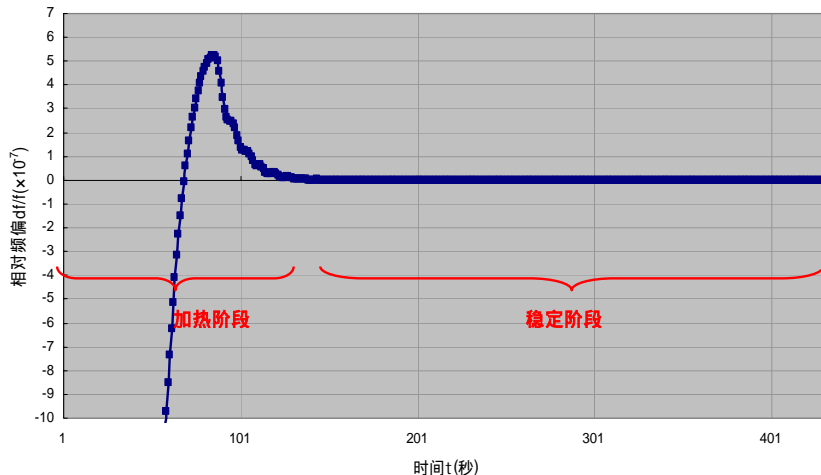
**老化：**晶体振荡器输出频率随时间的变化，它与其他外部因素无关。在发货前，生产商都会对晶振事先老化好，使其达到规定的老化率。

**温度稳定度：**如前所述，由于恒温结构也存在缺陷，环境温度的变化不可避免地会影响输出频率。

**重稳性和重现性：**当晶振不加电放置一段时间后（如运输过程），再重新加电，晶体需要一个重新稳定的过程。如图大多数应用中，OCXO一般都持续加电工作，这时老化特性比开机重现性重要；但在某些场合中，常需要OCXO频繁断电再加电，此时就要考虑开机重现性了。



**加热时间：**当振荡器在室温下初加电时，其输出频率明显低于恒温槽加热稳定后的频率。这是因为，SC切晶体在室温下的频率比在高拐点处的频率低。可参看SC切晶体的温度特性曲线。随着恒温槽加热，晶体频率迅速上升。一般，振荡器的加热时间为5-10分钟，但在某些快速加热的设计中，可减到2-3分钟。





### 恒温晶体振荡器（OCXO）之三

拐点温度：恒温槽的工作温度（即晶体的拐点温度），必须高于环境温度最高值（至少高10）。因为恒温槽是靠加热控制温度的，外界温度低于拐点温度时，就将恒温槽加热到拐点温度；若外界温度高于拐点温度，恒温槽不可能降低其温度。

但是，恒温温度太高时会产生很多不利因素。首先，晶体的温频特性曲线，拐点越高，频率对温度的影响越敏感；第二，更重要的是温度越高，晶体的老化特性越差。

因此，设计恒温晶振选择拐点时，一定要综合考虑，既要根据实际情况尽量降低工作温度，又要保证其高于最高环境温度。

SC切晶体的优势：

老化特性好：对给定的频率和泛音次数，SC切晶体的老化特性比AT切好2-3倍；快速恒温；相位噪声特性好；工作温度高：如图所示为AT切、IT切、SC切晶体的温频特性曲线。

AT切晶体的高拐点与SC切晶体的低拐点大致都在70 ~90 温度范围内，由于要求晶体拐点温度至少要比最高环境温度高10，生产厂商还要留出余量，因此这两种晶体最适合工作的温区为50 ~75。

IT切晶体有更高的拐点，工作温度范围可达85 ~95。需注意的是，SC切及IT切晶体在高温区内特性曲线相对较平坦，但在低温下，频率迅速降低，因此SC切晶体只适合用在高稳定恒温晶振中，而不适合应用于其他类型。

SC切晶体的劣势：

费用：由于SC切晶体采用难度较大的双旋转角度切割技术，大大增加了成本，因此价格较贵。

频率调整：相同频率和泛音次数下，SC切晶体的动态电容比AT切小几倍，使晶体的可调频率范围减小，因此SC切晶体不能用在要求调频范围较宽的TCXO、VCXO和某些OCXO中。